

Aus der Abteilung für Mikromorphologie  
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans Lenz)  
des Institutes für Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund-  
und Kieferheilkunde  
des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Freien Universität Berlin

---

**KOMBINIERTE LICHTOPTISCHE, TRANSMISSIONS-  
UND RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE  
UNTERSUCHUNGEN DES ZAHNSCHMELZES VON  
RATTENINCISIVIEN**

Dissertation  
zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde  
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Zahnarzt Detlef Manewald  
aus Berlin

1983







Aus der Abteilung für Mikromorphologie

(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans Lenz)

des Institutes für Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund- und Kiefer-  
heilkunde

des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Freien Universität Berlin

---

KOMBINIERTE LICHTOPTISCHE, TRANSMISSIONS- UND  
RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN  
DES ZAHNSCHMELZES VON RATTENINCISIVIEN

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde  
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Zahnarzt Detlef Manewald  
aus Berlin

Referent: Professor Dr. med. dent. Hans Lenz

Korreferent: Professor Dr. Heinrich Newesely

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund-  
und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 2. 7. 1984

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 1. Introduction                | 1   |
| 2. The University of Chicago   | 2   |
| 3. The University of Chicago   | 3   |
| 4. The University of Chicago   | 4   |
| 5. The University of Chicago   | 5   |
| 6. The University of Chicago   | 6   |
| 7. The University of Chicago   | 7   |
| 8. The University of Chicago   | 8   |
| 9. The University of Chicago   | 9   |
| 10. The University of Chicago  | 10  |
| 11. The University of Chicago  | 11  |
| 12. The University of Chicago  | 12  |
| 13. The University of Chicago  | 13  |
| 14. The University of Chicago  | 14  |
| 15. The University of Chicago  | 15  |
| 16. The University of Chicago  | 16  |
| 17. The University of Chicago  | 17  |
| 18. The University of Chicago  | 18  |
| 19. The University of Chicago  | 19  |
| 20. The University of Chicago  | 20  |
| 21. The University of Chicago  | 21  |
| 22. The University of Chicago  | 22  |
| 23. The University of Chicago  | 23  |
| 24. The University of Chicago  | 24  |
| 25. The University of Chicago  | 25  |
| 26. The University of Chicago  | 26  |
| 27. The University of Chicago  | 27  |
| 28. The University of Chicago  | 28  |
| 29. The University of Chicago  | 29  |
| 30. The University of Chicago  | 30  |
| 31. The University of Chicago  | 31  |
| 32. The University of Chicago  | 32  |
| 33. The University of Chicago  | 33  |
| 34. The University of Chicago  | 34  |
| 35. The University of Chicago  | 35  |
| 36. The University of Chicago  | 36  |
| 37. The University of Chicago  | 37  |
| 38. The University of Chicago  | 38  |
| 39. The University of Chicago  | 39  |
| 40. The University of Chicago  | 40  |
| 41. The University of Chicago  | 41  |
| 42. The University of Chicago  | 42  |
| 43. The University of Chicago  | 43  |
| 44. The University of Chicago  | 44  |
| 45. The University of Chicago  | 45  |
| 46. The University of Chicago  | 46  |
| 47. The University of Chicago  | 47  |
| 48. The University of Chicago  | 48  |
| 49. The University of Chicago  | 49  |
| 50. The University of Chicago  | 50  |
| 51. The University of Chicago  | 51  |
| 52. The University of Chicago  | 52  |
| 53. The University of Chicago  | 53  |
| 54. The University of Chicago  | 54  |
| 55. The University of Chicago  | 55  |
| 56. The University of Chicago  | 56  |
| 57. The University of Chicago  | 57  |
| 58. The University of Chicago  | 58  |
| 59. The University of Chicago  | 59  |
| 60. The University of Chicago  | 60  |
| 61. The University of Chicago  | 61  |
| 62. The University of Chicago  | 62  |
| 63. The University of Chicago  | 63  |
| 64. The University of Chicago  | 64  |
| 65. The University of Chicago  | 65  |
| 66. The University of Chicago  | 66  |
| 67. The University of Chicago  | 67  |
| 68. The University of Chicago  | 68  |
| 69. The University of Chicago  | 69  |
| 70. The University of Chicago  | 70  |
| 71. The University of Chicago  | 71  |
| 72. The University of Chicago  | 72  |
| 73. The University of Chicago  | 73  |
| 74. The University of Chicago  | 74  |
| 75. The University of Chicago  | 75  |
| 76. The University of Chicago  | 76  |
| 77. The University of Chicago  | 77  |
| 78. The University of Chicago  | 78  |
| 79. The University of Chicago  | 79  |
| 80. The University of Chicago  | 80  |
| 81. The University of Chicago  | 81  |
| 82. The University of Chicago  | 82  |
| 83. The University of Chicago  | 83  |
| 84. The University of Chicago  | 84  |
| 85. The University of Chicago  | 85  |
| 86. The University of Chicago  | 86  |
| 87. The University of Chicago  | 87  |
| 88. The University of Chicago  | 88  |
| 89. The University of Chicago  | 89  |
| 90. The University of Chicago  | 90  |
| 91. The University of Chicago  | 91  |
| 92. The University of Chicago  | 92  |
| 93. The University of Chicago  | 93  |
| 94. The University of Chicago  | 94  |
| 95. The University of Chicago  | 95  |
| 96. The University of Chicago  | 96  |
| 97. The University of Chicago  | 97  |
| 98. The University of Chicago  | 98  |
| 99. The University of Chicago  | 99  |
| 100. The University of Chicago | 100 |

Meiner Mutter



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41548817\\_0045](https://archive.org/details/IA41548817_0045)

## INHALTSVERZEICHNIS

|                            | Seite |
|----------------------------|-------|
| I. Einleitung              | 7     |
| II. Literaturübersicht     | 8     |
| III. Eigene Untersuchungen | 14    |
| 3. 1. Material und Methode | 14    |
| 3. 2. Ergebnisse           | 16    |
| IV. Diskussion             | 20    |
| V. Zusammenfassung         | 29    |
| VI. Literaturverzeichnis   | 30    |
| VII. Bildanhang            | 35    |



## I. EINLEITUNG

Über die Struktur des Schmelzes ist seit dem Beginn histologischer Untersuchungen auf diesem Gebiet sehr viel geschrieben worden. Dabei sind die unterschiedlichsten Beobachtungen und Auffassungen über die Schmelzstruktur und ihre Entstehungen zu Tage getreten. Es ist festzustellen, daß sich mit den Fortschritten der Technik nicht nur die Untersuchungsmethoden verfeinert, sondern auch die vielen Theorien durch immer neue Erkenntnisse Abänderungen erfahren haben.

Die Schwierigkeiten bei der histologischen Untersuchung der Schmelzstrukturen ergeben sich aus den winzigen Größenordnungen, so daß bei fortschreitender Entwicklung der Technik (verbesserte Lichtmikroskope, Röntgenbeugungseinrichtungen, Polarisationsmikroskope, Elektronenmikroskop, Rasterelektronenmikroskop) und Verbesserung der Präparationsmethoden, nach und nach ein immer besseres Bild der Schmelzstruktur entstand. Diese Entwicklung ergab neue Deutungsmöglichkeiten für die bisher bekannten Strukturen, sodaß in die Histologie der Zahnhartgewebe wieder Bewegung kam. Die vorliegende Arbeit hat nun zum Ziel, diese Entwicklung der Histologie des Zahnhartgewebes und der damit verbundenen Auffassungen über die Struktur des Schmelzes aufzuzeigen und mit Hilfe der neuesten Untersuchungsmethoden zu versuchen, eine Modellerklärung der Schmelzstruktur bei Rattenincisiven zu geben.



## II. LITERATURÜBERSICHT

Die Möglichkeit der Histologen die Schmelzstruktur zu beobachten, beschränkte sich im ersten Teil unseres Jahrhunderts auf das Lichtmikroskop.

Seit Retzius 1835 die von ihm im Lichtmikroskop beobachteten Strukturen des Schmelzes beschrieben hat, sprechen alle Lichtmikroskopiker von Schmelzprismen, die, von den Ameloblasten gebildet, die Grundbausteine des Schmelzes darstellen sollen. Auf den in der Literatur veröffentlichten lichtmikroskopischen Bildern ist gut zu sehen, daß Schmelz, sowohl beim Menschen als auch beim Tier, aus säulenförmigen, hexagonalen Gebilden besteht, die als Schmelzprismen bezeichnet werden. Einige Autoren glaubten erkennen zu können, daß jedes Prisma von anderen durch eine Prismenscheide getrennt ist. Zwischen diesen Prismenscheiden wurde eine Zwischensubstanz oder interprismatische Substanz (IPS) gesehen (v.Ebner, Tomes, Studnička, Waldeyer, Orban, W. Meyer u. a.). Andererseits wurde eine interprismatische Substanz als nicht vorhanden angesehen (Walkhoff). Der Schmelz besteht danach nur aus Prismen, die am Rande weniger stark verkalken als im Zentrum, so daß der Eindruck unterschiedlicher Substanzen im Lichtmikroskop entsteht.

Aus der Struktur des Schmelzes, die im Lichtmikroskop beobachtet werden konnte, wurden Rückschlüsse auf die Schmelzgenese gezogen. Dadurch, daß schon die beobachtete Struktur des Schmelzes unterschiedlich beurteilt wurde, sind die Theorien über die Schmelz-

genese und damit über die Struktur sehr zahlreich. So wurde angenommen, daß die Schmelzprismen Sekretionsprodukte der Ameloblasten sind (v.Ebner 1903, Andresen 1902, Held 1926, Eschler 1938). Andere sagten, das Schlußleistennetz, die Zellwände und die Interzellulärsubstanz bildeten die Prismenscheiden und die interprismatische Substanz. Die Ameloblastenscheiden den Prismeninhalt in diese vorgebildeten Schläuche aus (Lams 1921, Orban 1926, Göllner 1930, W. Meyer 1951).

Wiederum eine andere Theorie nahm eine Membrana praeformativa (von den Ameloblasten gebildet) an, die "Säckchen" bildet, in die der Prismeninhalt ausgeschieden wird (Studnička 1917).

Walkhoff 1921 dagegen glaubte, daß der Schmelz nur aus Prismen besteht, die unmittelbar aneinander grenzen. Die Lichtmikroskopisch sichtbare Unterteilung wird durch unterschiedliches optisches Verhalten der zentralen und der Randstrukturen der Prismen hervorgerufen. Weidenreich 1927 sprach davon, daß der Schmelz als homogene Schicht angelegt wird, die durch unterschiedliche Verkalkung zu den im Mikroskop sichtbaren Strukturen des Schmelzes führt.

Eine gute übersichtliche Zusammenfassung der verschiedenen Schmelzbildungstheorien findet sich bei Lenz (1958).

Diese kurze Aufzählung der Entstehungstheorien zeigt, daß die lichtmikroskopischen Befunde eine Vielzahl an Deutungsmöglichkeiten zulassen. W. Meyer führte in seinem Lehrbuch die gängige Auffassung an, wonach die Schmelzprismen aus dem Zellinhalt

der Ameloblasten gebildet werden, die Prismenscheiden aus den Zellwänden und die interprismatische Substanz aus der interzellulären Substanz. Diese Ansichten über die Schmelzgenese und Schmelzstruktur wurde als allgemein gültig anerkannt.

Die zu Beginn der fünfziger Jahre einsetzende technische Entwicklung der Elektronenmikroskopie erlaubte völlig neue Einblicke in die Schmelzstruktur, in einem Bereich, der durch das Auflösungsvermögen der Lichtmikroskopes bisher nicht erschlossen werden konnte. Zuvor war es möglich geworden, durch Röntgenbeugungseinrichtungen und Polarisationsmikroskope auf indirektem Wege, sublichtmikroskopische Strukturen zu erkennen (R. Gross 1926).

Das brachte wieder Bewegung in die festgefahrenen Diskussionen über die Histologie der Zahnhartgewebe.

Die Entwicklung des Elektronenmikroskopes und die Entwicklung neuer Präparationsmethoden erlaubte er dann auch auf direktem, optischen Weg die feinsten Strukturen der Zahnhartgewebe zu beobachten und völlig neue Bilder über die Bausteine des Schmelzes zu erhalten. Es wurde plötzlich erkannt, daß die Prismen des Schmelzes nicht als große Kristalle anzusehen sind, sondern daß sie aus einer Vielzahl von Kristalliten bestehen, so daß man besser nicht mehr von Prismen sondern von Kristallitenbündeln sprach. Eine weitere elektronenmikroskopische Beobachtung war, daß eine interprismatische Substanz offensichtlich nicht existierte, sondern die gesehenen Kristallitenbündel direkt anein-

ander stoßen ohne eine zusätzliche Substanz. Diese Beobachtungen bedingten natürlich auch ein Umdenken bezüglich der Vorstellungen der Schmelzgenese.

Aber trotz des großen Fortschritts, den das Elektronenmikroskop den Histologen brachte, durfte man nicht verkennen, daß es zur Beurteilung der Schmelzstruktur in größeren Bereichen nach wie vor der Vermittlung der normalen Lichtmikroskopie bedurfte. Denn man konnte zwar Ultrastrukturen in kleinsten Dimensionen betrachten und damit wertvolle Aufschlüsse über die Schmelzstruktur im sublichtmikroskopischen Bereich erlangen, aber wie diese gefundenen Einzelteile das gesamte Gefüge bildeten, blieb nach wie vor ungeklärt. Helmcke (1955) hat durch Serienschnitte, die im Elektronenmikroskop betrachtet wurden, versucht, ein räumliches Modell von der Schmelzstruktur zu erstellen.

Bei der Durchsicht der Literatur über die Schmelzstruktur ist ein Punkt sehr auffällig. Bis auf wenige Ausnahmen verwendeten alle Autoren, welche im Laufe der letzten achtzig Jahre wesentlich zur Aufklärung der Schmelzstruktur beigetragen haben, überwiegend tierische Zähne und Zahnkeime als Grundlage ihrer Arbeiten. Aus den Ergebnissen dieser Arbeiten wurde dann versucht, ein allgemein gültiges Bild vom Schmelz, also von Tier und Mensch, zu entwerfen. Nun ist es aber keineswegs so, daß man ohne weiteres von irgendwelchen Tierzahnkeimen auf die Schmelzstruktur beim Menschen schließen kann. Es wurden von einzelnen Autoren immer jene Tierschmelzpräparate zum Beweis herangezogen, die für die jeweilige Theorie die besten Beweise lieferten.

(Beispiel: Während Walkhoff Zahnkeime von jungen Hunden verwendete, verglich Andresen Bilder von Schweinezahnkeimen mit diesen Walkhoff'schen Bildern, um die eigene Strukturtheorie zu untermauern).

Orban verwendete Rattenschmelz, aber auch Menschen- und Hundezahnkeime. Er konnte besonders beim Hundeschmelz und beim menschlichen Schmelz die interprismatische Substanz sehen, bei Rattenschmelz äußerst selten. Dafür war hier die Querstreifung des Schmelzes besser zu sehen. Göllner verwendete gleich eine Vielzahl von Zahnkeimen von Pferd, Kalb, Schwein, Hund, Schaf, Katze, Ratte, Maus und Hase. Die für ihn besten Ergebnisse lieferten Schmelzbilder von Schafembryonen.

Weitere Autoren verwendeten menschliche Präparate (Helmcke, v. Ebner, Lenz, Kung, W. Meyer), auch hier ist bei einigen die Tendenz zu erkennen, tierische Präparate zu wählen, die die aufgestellte Theorie jeweils besonders gut herausstellen (z. B. v. Ebner).

Aus all diesen Beobachtungen läßt sich erkennen, daß die Autoren zwar sahen, mit welcher Vielfalt die Schmelzstruktur bei den einzelnen Tierarten und beim Menschen auftrat, aber dennoch wollten sie eine allgemeingültige Theorie über die Schmelznese und damit über die Struktur des Schmelzes aufstellen.

Die Erklärung für die Vielfalt der Präparate, die die verschie-

denen Autoren verwendeten, dürfte darin zu finden sein, daß versucht wurde, Beweise für die entwicklungsgeschichtlichen Zusammenhänge zu finden. Es gab Vorstellungen, daß zwar die äußere Form (z.B. Zähne) der verschiedenen Tierarten unterschiedlich sind, daß aber die innere Struktur (z.B. Schmelzprismen) bei allen gleich sein müßten.

Hinzu kam die mögliche Verfügbarkeit der Präparate. Es ist einleuchtend, daß ein Hunde- oder Schafzahnkeim leichter zu bekommen war, als ein menschlicher Zahnkeim, also wurden die einfacher verfügbaren Präparate auch häufiger verwendet. Die Struktur des Schmelzes der Nagetiere mit der Leiterstruktur und den parkettfußbodenartigen Mustern bereitete den Histologen besondere Schwierigkeiten bei den Deutungsversuchen wie die Kristallitenbündel im Schmelz angeordnet sein könnten. Jetzt eröffnet sich durch das Rasterelektronenmikroskop die Möglichkeit, die Struktur des Rattenschmelzes aufzuklären.

### III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

#### 3.1. Material und Methode

Für die vorliegende Arbeit wurden Präparate von Rattenincisiven verwendet, die lichtoptisch, transmissions- und rasterelektronenmikroskopisch untersucht wurden. Dabei wurde so vorgegangen, daß zuerst Schliffe von Zähnen angefertigt wurden, die - unvorbehandelt und ungefärbt - im Lichtmikroskop betrachtet wurden. Es wurden dabei verschiedene Vergrößerungen benutzt.

Der nächste Schritt für die Untersuchung der Rattenincisiven war die Anfertigung von Schliffen für das Elektronenmikroskop. Hier wurden die Zähne mit  $\text{OsO}_4$  fixiert und in toto in Methacrylat eingebettet. Anschließend wurden von den eingebetteten Zähnen ca. 100  $\mu$ dicke Scheiben geschnitten. Diese wurden dann einzeln, nach stufenweiser Entwässerung in der Alkoholreihe, in aufrechtgestellte und mit einer Methacrylatmischung gefüllte, zylinderförmige Gelatinekapseln eingebettet. Nach Anspitzung der Präparate in den Gelatinekapseln wurden im Mikrotom Dünnschnitte hergestellt, welche dann im Elektronenmikroskop betrachtet werden konnten (Elmiskop I A, Firma Siemens, Strahlspannung 80-100 kV).

Für das Rasterelektronenmikroskop (Cambridge Stereoscan 150 S), wurden ganze Rattenincisiven getrocknet, zerbrochen und die Bruchstücke mit Gold bedampft. Dann wurden die Bruchflächen im

Rasterelektronenmikroskop einer genauen Betrachtung unterzogen. Weiterhin wurde ein Präparat, welches für die lichtmikroskopischen Untersuchungen verwendet wurde, mit Phosphorsäure (30 %) angeätzt (60 sec.), bedampft und im Rasterelektronenmikroskop untersucht.

### 3. 2. Ergebnisse

#### 3. 2. 1. Lichtmikroskopische Bilder

Zunächst wurden die Schmelzpräparate im Lichtmikroskop betrachtet. Diese Präparate waren Schliffe von Rattenincisiven, die ungefärbt und unvorbehandelt verwendet wurden. (Das Ergebnis waren Bilder, wie sie in Abb. 1 - 5 zu sehen sind).

Schon bei geringer Vergrößerung kann man die in der Literatur beschriebenen Strukturen teilweise gut sehen. Man sieht schräg verlaufende, in Reih und Glied stehende Schmelzprismen, die zur Zahnoberfläche hin abknicken und dort eine scheinbar prismenlose Schicht bilden (Abb. 3). Außerdem ist die Abgrenzung eines jeden einzelnen Prismas gegen das andere gut zu erkennen. Weiter ist eine deutliche Querstreifung der einzelnen Prismen auszumachen. Die Prismen scheinen ziemlich gleichmäßig und geradlinig von der Schmelz-Dentin\_Grenze schräg zur Oberfläche des Zahnes zu laufen. Dann knicken sie ab und man sieht keine klare Struktur mehr. Es scheint, als ob an der Oberfläche des Zahnes sich eine prismenfreie Zone befindet (Abb. 1).

Abb. 5 zeigt längs und quer getroffene Prismen.

Wenn man den Tubus des Mikroskopes herauf- oder herunter bewegt, ändert sich die Verlaufsrichtung der Prismen. Die Erklärung dafür ist, daß - bedingt durch die Dicke der Schliffe - mehrere Schichten von Prismen kreuzweise übereinander liegen und so je nach Stellung des Tubus jeweils eine andere Schicht von Prismen zu sehen ist. Die "Sperrholzstruktur" des Rattenschmelzes, wie

sie Tones und v. Ebner gesehen haben, tritt deutlich bei geringer Vergrößerung auf (große Tiefenschärfe), sodaß dadurch mehrere Schichten von Prismen im Präparat zusammen gesehen werden.

### 3. 2. 2. Transmissionselektronenmikroskopische Bilder

Wenn man sich Ultradünnschnitte von Rattenschmelz im Elektronenmikroskop in der Übersichtsaufnahme anschaut, sieht man, daß die Schmelzstruktur den Aufnahmen des Lichtmikroskopes ähnelt. Man kann einzelne Kristallitenreihen erkennen, die - in fast regelmäßigen Abstand - von dunkleren Streifen quer durchzogen sind. Zwischen den Reihen der Kristallite befinden sich wiederum anders strukturierte Kristallitenbündel (die in anderer Richtung verlaufen) (Abb. 6). Bei stärkerer Vergrößerung stellt sich heraus, daß es sich bei den beobachteten Reihen von Kristallen (Abb. 8) um viele einzelne Bündel von Kristalliten handelt. Das unterschiedliche Aussehen der Kristallitenbündel wird durch die unterschiedliche Verlaufsrichtung hervorgerufen. Wie in Abbildung 9 gut zu sehen ist, verlaufen die Kristallitenbündel einmal senkrecht zur Filmebene, zum anderen in der Filmebene senkrecht und waagrecht oder aber schräg zur Filmebene des Betrachters. Diese Kristallitenbündel umschließen sich gegenseitig, teilen sich auf, biegen ab und verschwinden dadurch aus der Ebene des Bildes. Insgesamt ergibt sich aus den Bündeln ein schönes, fast geometrisches Gesamtbild für den Betrachter.

Auf anderen Bildern verlaufen die Kristallitenbündel so gleichmäßig, als wenn sie sich kreuzen wie die Holzstäbe eines Parkett-

fußbodens (Abb. 11). Bei starker Vergrößerung (Abb. 12) sieht man die einzelnen Kristallite noch deutlicher wie sie in Bündeln in alle möglichen Richtungen verlaufen.

### 3. 2. 3. Rasterelektronenmikroskopische Bilder

Die vorher für das Lichtmikroskop verwendeten Schliffe des Rattenschmelzes werden angeätzt und zeigen bei der Betrachtung im Rasterelektronenmikroskop eine große Ähnlichkeit mit den lichtmikroskopischen Bildern (Abb. 13). Nur kann man hier gegenüber dem Lichtmikroskop sehr gut die Verlaufsrichtung der einzelnen Kristallitenbündel erkennen. Wir sehen Bündel, die miteinander verflochten sind wie bei einem Korbgeflecht (Abb. 14). Es ist ganz deutlich zu sehen, wie einzelne Bündel sich teilen, ein senkrecht dazu stehendes Bündel umschließen und schließlich, sich wieder vereinigend, in ihrer bisherigen Richtung weiterlaufen (Abb. 15 und 16). Jedes einzelne Bündel macht an dem sichtbaren Ende einen sehr faserigen Eindruck, man denkt unwillkürlich an das Bild eines zerbrochenen Astes oder Baumstammes (Abb. 17). Auch bei diesen Bildern ist wieder festzustellen, daß die Richtungen der Kristallitenbündel sich nicht an eine Ebene halten, wie das bei einem Korbgeflecht der Fall ist, sondern sie wechseln von einer Ebene in die andere, da sie nicht immer geradlinig sondern vielfach gebogen verlaufen (Abb. 15). Bei geringerer Vergrößerung ist sehr schön die Regelmäßigkeit zu erkennen, mit der die Kristallitenbündel sich miteinander verflechten. Es ist auch zu sehen, wie die Richtung der Bündel zur Oberfläche des Zahnes hin wechselt, die Bündel dichter beieinander liegen

letztlich, direkt an der Zahnoberfläche, senkrecht stehen (Abb. 19).

Die im Rasterelektronenmikroskop betrachteten Bruchflächen von Rattenincisiven zeigen wiederum ein völlig anderes Bild. Hier sind es nicht die einzelnen Kristallite, die man beobachten kann, sondern man sieht wegen der geringen Vergrößerung hier die Bündel der Kristallite wie einzelne Stäbe. Bei der Übersichtsaufnahme sieht die Schmelzstruktur an der Bruchfläche wie einzelne Waffelstücke aus, die sich übereinander türmen (Abb. 20). Es scheint, als ob viele einzelne Brettchen, die aus sich kreuzenden Stäben oder Bündeln bestehen, übereinander liegen (Abb. 20 und 22).

An diesen Bildern ist außerdem gut zu erkennen, wie dieses Muster zu Zahnoberfläche hin plötzlich verschwindet. Es entsteht der Eindruck, als ob sich zur Oberfläche hin eine andere Schicht befindet. Die Kristallitenbündel stehen, kreuz und quer durcheinander ziehend, schließlich annähernd senkrecht zur Zahnoberfläche (Abb. 21).

Das Bild der Bündel an der Oberfläche gleicht einem Blick von schräg oben auf ein abgeerntetes Getreidefeld. Die Bruchfläche ist hier relativ glatt mit wenigen Vertiefungen. Sie ist nicht so stark zerklüftet wie in den anderen Bereichen des Schmelzes.

#### IV. DISKUSSION

Die Struktur des Zahnschmelzes war seit Jahrzehnten Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und Ausgangspunkt vieler Theorien. Die Wandlungen der Ansichten über die Struktur des Schmelzes standen im engen Zusammenhang mit der technischen Entwicklung von neuen Untersuchungsmethoden. Bis es möglich wurde, andere als lichtmikroskopische Untersuchungen der Schmelzstruktur vorzunehmen (was die optischen Untersuchungsmöglichkeiten in der Histologie anbetrifft), gab es in der Fachwelt die klare Aussage, daß Schmelz u. a. aus fast immer quergestreiften Prismen und interprismatischer Substanz besteht.

Schon sehr früh wurde der Versuch gemacht, die lichteoptischen Untersuchungsmöglichkeiten zu verbessern, um genauere Aussagen über die Ultrastruktur des Schmelzes zu erhalten. So zeigten polarisationsoptische Untersuchungen (v. Ebner 1890, 1906), daß die optische Achse der Prismen bis zu  $40^{\circ}$  von der Richtung der Schmelzprismen abwich. W. J. Schmidt schloß 1925 aus seinen polarisationsoptischen Untersuchungen, daß die anorganische Substanz der Schmelzprismen aus länglichen Kristallen bestehen muß, die vorzugsweise in der Längsrichtung der Schmelzprismen orientiert sind. Dieses Ergebnis wurde durch Keil 1936 bestätigt. Beide Autoren zusammen untersuchten das polarisationsoptische Verhalten des Schmelzes zahlreicher Tierarten und des Menschen (1958) und konnten so die Anordnung der Bauelemente der Zähne bestimmen.

Zu diesen polarisationsoptischen Untersuchungen kam die Rönt-

genstrukturanalyse (R. Gross 1926, Thewlis 1940, Trautz 1953), mit deren Hilfe es ebenfalls auf indirektem Weg möglich wurde, die Anordnung der Kristalle in den Schmelzprismen aufzuzeigen und die Kristallite als Apatitkristalle zu identifizieren.

Die Erfindung des Elektronenmikroskops 1929 durch E. Ruska ergab für die Histologie die Möglichkeit, die Ultrastrukturen des Zahnschmelzes direkt sichtbar zu machen. Man erkannte die einzelnen Kristalle, die die Schmelzprismen bildeten, ihre Form, ihre Größe und ihre Anordnung in den Prismen. Diese neuen, optischen Eindrücke von der Schmelzstruktur wurden allerdings von den Autoren zunächst meist mit den Augen des Lichtmikroskopikers betrachtet und gedeutet, d. h. man suchte in den elektronenmikroskopischen Befunden genaue Aufschlüsse und Bestätigungen für die bis dahin allgemein gültigen Ansichten über die Struktur der Zahnhartgewebe zu finden. Dies ist aus der Tatsache zu erklären, daß bei flüchtiger Betrachtung z. B. des Rattenschmelzes im elektronenmikroskopischen Bild ein Vergleich mit den lichtoptischen Befunden sich aufdrängt. Die Abbildungen 1 und 6 zeigen, daß eine Ähnlichkeit der lichtmikroskopischen mit den elektronenmikroskopischen Bildern besteht. Bei genauer Betrachtung und Berücksichtigung der Art und Weise, wie die lichtmikroskopischen und die elektronenmikroskopischen Bilder entstehen, sollte man jedoch nicht versuchen, die lichtmikroskopisch gewonnenen Erkenntnisse ohne weiteres in die elektronenmikroskopischen Bilder zu übertragen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit, vergleichende Untersuchungen der Struktur des Rattenschmelzes durch die Kombination verschiedener optischer Untersuchungsmöglichkeiten (Lichtmikroskop, Transmissions- und Rasterelektronenmikroskop) vorzunehmen und die Schmelzstruktur genauer darzustellen, als das bisher gelungen war, konnte erreicht werden. Es zeigt sich dabei, daß die lichtmikroskopischen Bilder genau wie die transmissionselektronenmikroskopischen Bilder auf der einen Seite zwar teilweise zu Aufklärung der Frage nach der Schmelzstruktur beitragen können, auf der anderen Seite aber keine Erkenntnisse darüber liefern, auf welche Weise die Kristallitenscharen die gesamte Schmelzschicht durchziehen. Die rasterelektronenmikroskopischen Bilder erweisen sich hierbei als eine Art Bindeglied zwischen den lichtmikroskopischen und den transmissionselektronenmikroskopischen Bildern, die es erlauben, Aussagen über die räumliche Anordnung der Kristallitenbündel im Schmelz zu machen.

Das Ergebnis der Arbeit trägt so zur Klärung der Fragen über die Struktur des Rattenschmelzes bei. Einmal werden Erkenntnisse geliefert über die Frage der Existenz oder Nichtexistenz einer interprismatischen Substanz, zum anderen können die Ergebnisse dazu beitragen, die Frage nach der Querstreifung und nach der räumlichen Architektur des Rattenschmelzes zu klären.

Es zeigt sich, im Gegensatz zur lichtoptisch bedingten Ansicht, im Transmissionselektronenmikroskop, daß keine Unterschiede zwischen Prismen und interprismatischer Substanz, im Sinne einer andersartigen Substanz, bestehen (Abb. 9). Es ist klar zu erken-

nen, daß der gesamte Zahnschmelz der Ratte von Kristalliten gebildet wird, die Bündel bilden, die unmittelbar aneinander stoßen. Das bedeutet, daß nicht, wie bisher angenommen, die als Prismen bezeichneten Gebilde die primären Strukturen des Schmelzes darstellen, sondern die im Elektronenmikroskop zu sehenden Kristallite. Da sie, wie erwähnt - bündelartig zusammenliegend - unmittelbar aneinander stoßen, erübrigt sich die Diskussion über eine weitere Substanz, der interprismatischen Substanz. Dieser Befund wurde schon von Lenz (1956, 1958) und von Helmcke (1953, 1960) gemacht. Diese Autoren vertraten als Elektronenmikroskopiker als erste die Meinung, daß eine interprismatische Substanz im klassischen Sinne nicht existiert. Weitere elektronenmikroskopische Befunde führten dazu, daß nicht mehr so starr an den klassischen, lichtmikroskopisch bedingten Vorstellungen der Schmelzstruktur festgehalten werden konnte. Zu diesen zählen die Arbeiten von Lenz (1958), Helmcke, Schulz und Scott (1963), Nalbandian und Frank (1962), Höhling (1966) u. a.

Daß die Kombination verschiedener Untersuchungsmöglichkeiten bei der Betrachtung von Rattenschmelz sinnvoll ist, zeigt sich bei der Auswertung der in Lichtmikroskop, TEM und REM gewonnenen Bilder. Die lichtmikroskopischen Bilder scheinen die klassische Definition von quergestreiften Prismen und interprismatischer Substanz zu bestätigen, wie sie schon Tomes gesehen hat in dem Sinn, daß es sich bei der interprismatischen Substanz um eine andere Substanz handelt als bei den Prismen (Abb. 1 - 5).

Auch die mit dem Transmissionselektronenmikroskop gewonnenen Übersichtsbilder weisen eine große Ähnlichkeit mit den lichtmikroskopischen Bildern auf (Abb. 6). Bei näherer Betrachtung erweist sich jedoch, daß das, was als quergestreifte Prismen angesehen werden könnte, Bereiche unterschiedlicher Struktur sind (längs und quer getroffene Kristallitenbündel). Wenn man jetzt die Rattenschmelzpräparate im Transmissionselektronenmikroskop bei stärkerer Vergrößerung - die über das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskopes hinausgeht - betrachtet, erkennt man diese "Strukturbereiche" als Bündel von Kristalliten, die unterschiedliche Verlaufsrichtungen haben (Abb. 8 und 10). Bei diesen Bildern ist nirgends eine andere Substanz zu sehen, die man als interprismatische Substanz bezeichnen könnte. Manchmal erscheint um einzelne Kristallitenbündel ein heller Saum. Dies wurde von einigen Autoren (z.B. Orban 1966) unter Verkennung der Größenordnung als interprismatische Substanz gewertet.

Die TEM - Bilder von Dünnschnitten gestatten uns, die Schmelzstruktur bis zum feinsten Bauelement zu sehen (Abb. 12). In ihrer verwirrenden Vielfalt erlauben sie aber keine Rückschlüsse auf die räumliche Architektur des Schmelzes z. B. des Verlaufs der Kristallitenbündel von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur Zahnoberfläche. Es ist, als ob man ein Holzfurnier betrachtet und man versucht, sich anhand des vielfältigen Musters die Gestalt des Gebildes vorzustellen, aus dem das Furnier gemacht wurde ohne zu wissen, daß dieses Furnier aus dem Holz eines Baumes entstanden ist.

Einen Ausweg aus den geschilderten Schwierigkeiten bietet uns das Rasterelektronenmikroskop mit seinen plastisch wirkenden Bildern der Schmelzstruktur. Die Untersuchungsergebnisse des Rasterelektronenmikroskops schaffen eine Verbindung zwischen den Ergebnissen des Lichtmikroskops und des Transmissionselektronenmikroskops, weil nicht mehr nur die Oberflächen von Schliffen und Dünnschnitten der Hartschmelz zweidimensional betrachtet werden können sondern die räumliche Architektur des Schmelzes gesehen werden kann. Als vorteilhaft für die Aufklärung der Architektur des Rattenschmelzes erwies sich die Untersuchung von Bruchflächen von Zähnen. Es zeigten sich (Abb. 24), daß beim Brechen eines Zahnes der Schmelz an den natürlichen Schwachstellen, d. h. an der Längsrichtung der Kristallitenbündel, sich aufspaltet. Solch ein Bild zeigt sehr schön, wie die einzelnen Bündel in der Schmelzschicht verlaufen. Sie bilden - netzartig übereinanderliegend - einzelne Schichten, wie Brettchen oder Waffeln aussehend, und orientierten sich, unter Auflösung der klaren Struktur, zur Zahnoberfläche, wobei die Bündel -vielfach miteinander verdreht und verflochten - annähernd senkrecht stehen.

Es besteht eine auffällige Ähnlichkeit mit den lichtmikroskopischen Bildern. Auch dort findet sich dieser schräge Verlauf der Kristallitenbündel, der sich zur Zahnoberfläche in eine scheinbare Strukturlosigkeit verändert. Nur erscheinen im Lichtmikroskop die Kristallitenbündel kreuzweise in einer Ebene liegend. Das ist damit zu erklären, daß im lichtmikroskopischen Schliffpräparat mehrere Schichten von Kristallitenbündel übereinander

liegen und mal die eine mal die andere Schicht je nach Einstellung in der Projektionsebene scharf erscheint.

Auf den Bruchflächen ist zu erkennen, daß der Schmelz der Rattenincisiven von diesen Kristallitenbündeln gebildet wird und von keiner weiteren Substanz. Man sieht sehr gut, wie die einzelnen Bündel im Schmelz liegen. Manchmal stehen sie da wie ein Palisadenzaun (Abb. 25), und bei der Betrachtung der rundlichen Bruchflächen der einzelnen Kristallitenbündel drängt sich der Vergleich mit dem TEM - Bild auf (Abb. 8) das diese rundlich - ovalen Bündel auch zeigt. Einzelne Bündel teilen sich und umschließen wieder andere. Das läßt sich auch aus den TEM - Bildern deuten (Abb. 10).

Dieses Sich - teilen der Kristallitenbündel kann noch besser in den Bildern der angeätzten Schliffe gesehen werden, welche vorher für die lichtmikroskopischen Untersuchungen verwendet wurden. (Abb. 14 und 16). Diese Schliffe wurden mit einem der handelsüblichen Präparate angeätzt, wie sie in der Praxis zum Anätzen des Schmelzes bei lighthärtenden Kunststofffüllungen oder Versiegelungen verwendet werden. Erst die angeätzten Schliffe liefern uns Bilder, die tatsächlich zur Aufklärung der Struktur des Rattenschmelzes beitragen. Auf diesen Bildern kann die Verlaufsrichtung der Kristallitenbündel verfolgt werden und man kann sich einen Gesamteindruck davon machen, wie kompliziert die Kristallitenbündel miteinander verflochten sind.

Die angeätzten Schliffe weisen eine noch größere Ähnlichkeit im Gesamteindruck mit den lichtmikroskopischen Bildern auf als die REM - Bilder der Bruchflächen der Zähne. Sie zeigen bei flüchtiger Betrachtung sich kreuzende Kristallitenbündel, die typisch sind für den Rattenschmelz und die zu der Bezeichnung "Sperrholzstruktur" des Rattenschmelzes führten (Abb. 13).

Bei genauerer Betrachtung ist klar zu erkennen, daß sich die Kristallitenbündel kreuzen und miteinander verflochten sind wie bei einem Korbgeflecht, allerdings nicht nur in einer Ebene, sondern in alle Richtungen des Raumes. Dabei liegen die Bündel jeweils einer Richtung sehr schon symmetrisch nebeneinander ohne irgend eine andere Substanz dazwischen. Manchmal umschließt ein Bündel ein senkrecht dazu stehendes (Abb. 16). Das kann auch bei den REM - Bildern der Bruchflächen der Rattenincisiven gesehen werden (Abb. 25).

Die Kristallitenbündel sind in ihrer Gestalt nicht einfach glatt wie z. B. Holzstäbe, sondern sie haben Verdickungen und Ausläufer (Abb. 23). Diese fast gleichmäßigen Verdickungen der "Prismen" wurde von Helmcke, Schulz und Scott (1963) bei elektronenmikroskopischen Bildern mit dem TEM (nach der Abdruckmethode mit Triafol) beschrieben. Die Autoren meinten, daß die rhythmischen Wellen an der Begrenzungslinie der "Prismen" der Querstreifung entsprechen könnten. Eine Bestätigung dieser Annahme kann nach den hier vorliegenden Ergebnissen nicht gegeben werden. Vielmehr ist die unterschiedliche Dicke der Kristallitenbündel

durch die Anlagerung quer dazu liegender Bündel bedingt (Abb. 25), die hier beim Bruch des Zahnes herausgelöst worden sind.

## V. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit werden für die Klärung der Frage nach der Struktur des Rattenschmelzes verschiedene Untersuchungsmöglichkeiten kombiniert.

Es werden Präparate von Rattenincisiven im Lichtmikroskop, Transmissionselektronenmikroskop und Rasterelektronenmikroskop untersucht.

Die gewonnenen Bilder liefern die Erkenntnis, daß

1. die primäre Struktur des Schmelzes aus Kristalliten besteht, die in Bündeln angeordnet sind,
2. Eine interprismatische Substanz zwischen den einzelnen Kristallitenbündel kann nicht gesehen werden. Die Bündel liegen unmittelbar aneinander.
3. Die im Lichtmikroskop sichtbare Querstreifung des Rattenschmelzes erweist sich bei der Betrachtung im TEM und REM als Kristallitenbündel, die unterschiedliche Verlaufsrichtung haben.
4. Das Ergebnis der Arbeit kann zu neuen Erkenntnissen über die Architektur des Rattenschmelzes beitragen.

## VI. LITERATURVERZEICHNIS

1. Andresen, V.: Über die Mineralisation und Remineralisation des Schmelzes  
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 39, 97 - 122, 417 - 429, 1921
2. Andresen, V.: Beitrag zur Histologie des Schmelzes  
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 20, 345 - 351, 1902
3. v. Ebner, V.: Über die Kittsubstanz der Schmelzprismen  
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 21, 505 - 529, 1903
4. v. Ebner, V.: Histologie der Zähne mit Einschluß der Histogenese  
Scheffs Handbuch der Zahnheilk. Bd. 1, Wien 1922
5. v. Ebner, V.: Strittige Fragen über den Bau des Zahnschmelzes  
S.ber. Akad. Wiss., Wien, 99, 1890
6. Eschler, J.: Zur Frage der Entwicklung des Zahnschmelzes  
Z. Stomat. 36, 221 - 235, 1938
7. Glas, J. E. zitiert bei G. H. Schumacher, Anatomie und Biochemie der Zähne  
Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1972
8. Göllner, L.: Über die Entwicklung des Schmelzgewebes  
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 48, 1336-1355, 1930
9. Gross, R.: Die kristalline Struktur von Dentin und Zahnschmelz  
Festschrift Zahnärztl. Inst. d. Univ. Greifswald, Berlin 1926
10. Held, H.: Über die Bildung des Schmelzgewebes  
Z. mikr.-anat. Forsch. 5, 668, 1926
11. Helmcke, J. G.: Bau und Struktur der Zahnhartsubstanzen. Ergebnisse licht-, polarisations- und elektronenmikroskopischer Forschung  
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 155, 1960
12. Helmcke, J. G.: Atlas des menschlichen Zahnes im elektronenmikroskopischen Bild  
Teil I und II, Berlin 1953 und 1957  
Transmore-Photo-GmbH, Berlin-Wilmersdorf

13. Helmcke, J. G.: Elektronenmikroskopische Strukturuntersuchungen an gesunden und an kranken Zähnen  
Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 1461 - 1478, 1955
14. Helmcke, Schulz und Scott: Querstreifung der menschlichen Prismen  
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 12, 569-575, 626-637, 1963
15. Höhling, H. J.: Die Bauelemente von Zahnschmelz und Dentin aus morphologischer, chemischer und struktureller Sicht  
Carl Hanser Verlag, München 1966
16. Höhling, H. J.: Untersuchungen am gesunden und kariösen Zahnschmelz unter besonderer Berücksichtigung der Ultramikrotomschnitt-Technik an nichtentmineralisierter Substanz  
Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 694, 1961
17. Keil, A.: Grundzüge der Zahnforschung  
Gebr. Bornträger, Berlin Zehlendorf, 1942
18. Kung, Y. S.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über menschlichen Zahnschmelz unter besonderer Berücksichtigung der Prismen und der interprismatischen Substanz (IPS)  
Habil. Schrift FU Berlin, 1976
19. Lams, H.: Recherches sur la structure des parties constituants de la dent  
Archives de Biologie 31, 1921
20. Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen bei beginnender Karies  
Zahnärztliche Rundschau 65, 283 - 289, 1956
21. Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an normalen Schmelz  
Dtsch. zahnärztl. Z. 11, 1371 - 1375, 1956
22. Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Entwicklung des Zahnschmelzes  
Quintessenz 10, Ref. 1170, 1959
23. Meyer, W.: Strittige Fragen in der Histologie des Zahnschmelzes  
Vjschr. Zahnheilk. 41, 303 - 348, 1923

24. Meyer, W.: Normale Histologie und Entwicklungs-  
geschichte der Zähne des Menschen  
2. Aufl., München 1951
25. Nalbandian, J. u. Frank, R.M.: Microscopie électronique des gaines, des  
structures prismatique et interprismatique  
de l'émail foetal humain  
Bull. du G.I.R.S. 5, 523 - 542, 1962
26. Orban, B.: Zur Histologie des Schmelzes und der  
Schmelzdentingrenze  
Vjschr. Zahnheilk. 42, 336 - 353, 1926
27. Orban, B.: Zur Entwicklung und feineren Struktur  
des Schmelzes  
Z.-Stomat., XXIII. Jg., 1925
28. Orban, B.: Oral histology and embryology  
C. V. Mosby Company, Saint Louis 1966,  
6. Aufl.
29. Retzius, A.: zitiert bei W. Meyer, Normale Histologie  
und Entwicklungsgeschichte der Zähne des  
Menschen, 2. Aufl., München 1951
30. Schmidt, W. J.: Doppelbrechung und Feinbau des Zahnschmelzes  
S.B. 1923 Niederrhein. Ges. Natur- u. Heilk.  
Bonn, Nat. Abt. 1925, 1 - 19
31. Schmidt, W. J. u. Keil, A.: Die gesunden und die erkrankten Zahnge-  
webe des Menschen und der Wirbeltiere  
im Polarisationsmikroskop  
Carl Hanser Verlag, München 1958
32. Schumacher, G.H.: Anatomie und Biochemie der Zähne  
Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1972
33. Studnicka, F.K.: Über die Histogenese der Schmelzschicht  
der Säugetierzähne  
Anat. Anz. 50, 225, 1917
34. Thewlis, J.: The examination of dental enamel by X-ray  
and the polarizing microscope  
Proc. phys. Soc. 51, 992 - 1002, 1938
35. Trautz, O. R.: The use of X - ray Diffraction in Dental  
Research  
Annals of Dentistry 12, 47 - 54, 1953

36. Waldeyer, W.: Untersuchungen über die Entwicklung der  
Zähne  
Z. ration. Med. 25, 109 - 213, 1865
37. Walkhoff, O.: Studien über die erste Entwicklung des  
Zahnschmelzes  
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 45, 49 - 95, 1927
38. Weidenreich, F.: Über den Schmelz der Wirbeltiere und seine  
Beziehungen zum Zahnbein  
Z. f. Anat. u. Entw. Gesch. 79, 292 -  
351, 1926



## VII. BILDANHANG

Die Vergrößerungsangaben der einzelnen Abbildungen sind jeweils den  $\mu\text{m}$  - Strichen zu entnehmen.

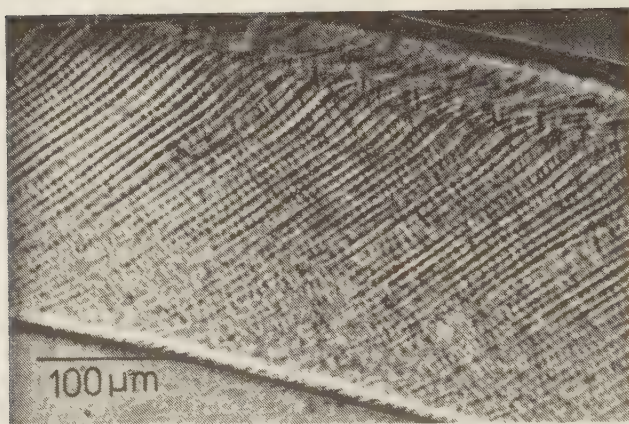


Abb. 1 Lichtmikroskopische Aufnahme, prismenartige Gebilde mit Querstreifung. Rattenschmelz unvorbehandelt und ungefärbt.



Abb. 2, gleiches Präparat wie Abb. 1.



Abb. 3, Rattenschmelz unvor-  
behandelt und ungefärbt

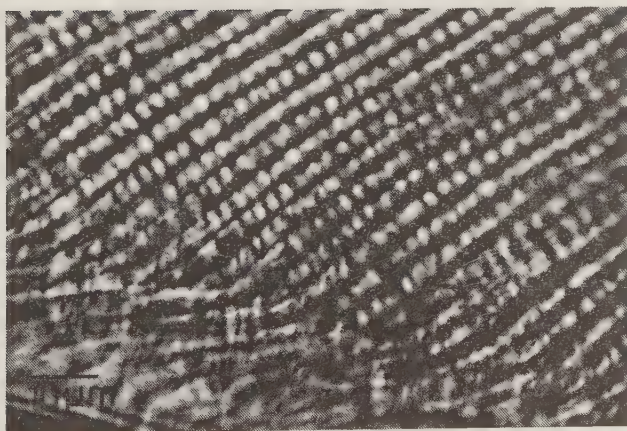


Abb. 4, wie vor, stärkere Vergrößerung

Abb. 5, Rattenschmelz, längs und quer getroffene "Prismen",  
Lichtmikroskop

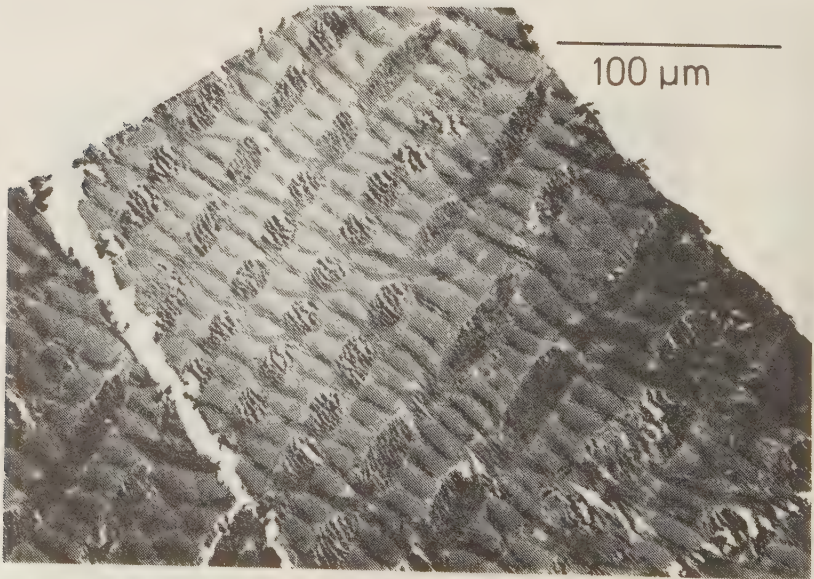


Abb. 6, Ultradünnschnitt von Rattenschmelz im TEM. Auch hier sind  
prismenartige Gebilde wie im Lichtmikroskop zu sehen.

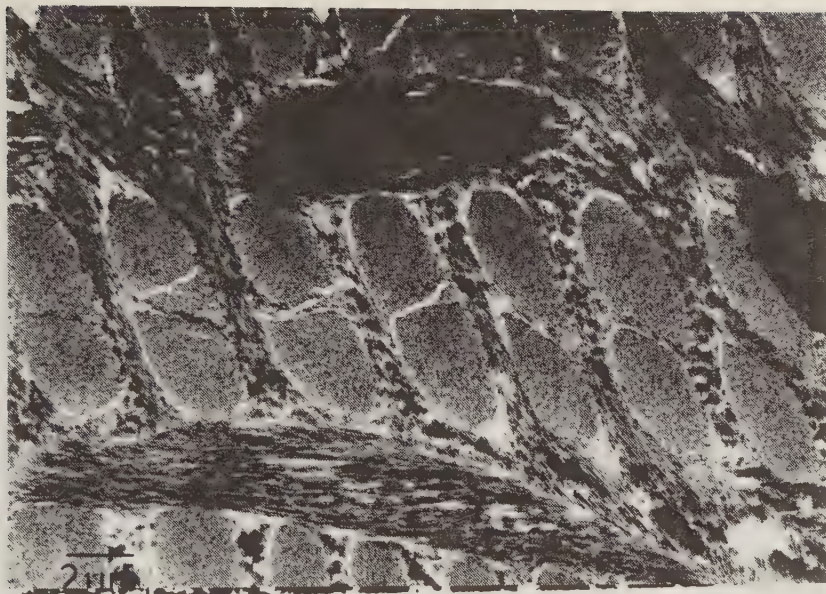


Abb. 7, Rattenschmelz, TEM. Bei starkerer Vergrößerung zeigt sich, daß die prismenartigen Gebilde einzelne Kristallitenbündel sind.

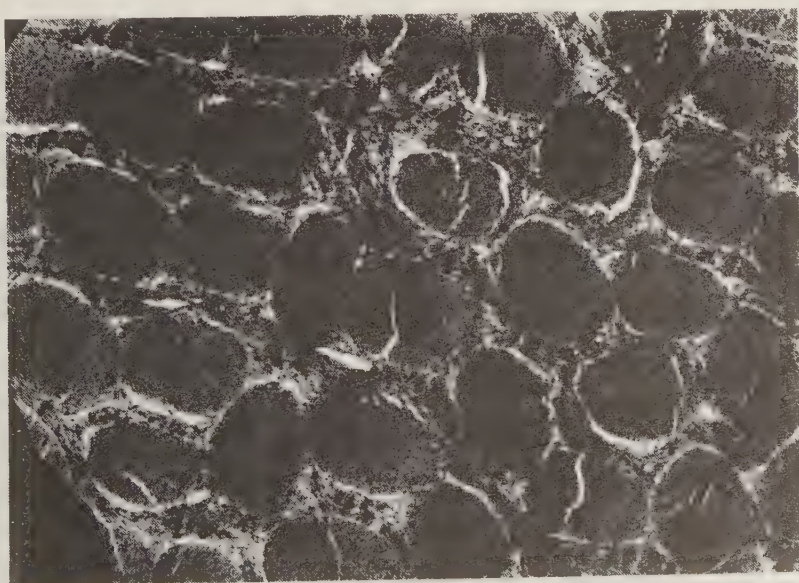


Abb. 8, Rattenschmelz, TEM, Kristallitenbündel mit unterschiedlicher Verlaufsrichtung.



Abb. 9, Rattenschmelz. Die unterschiedliche Verlaufsrichtung der Kristallite in den Bündeln ist gut zu sehen, TEM

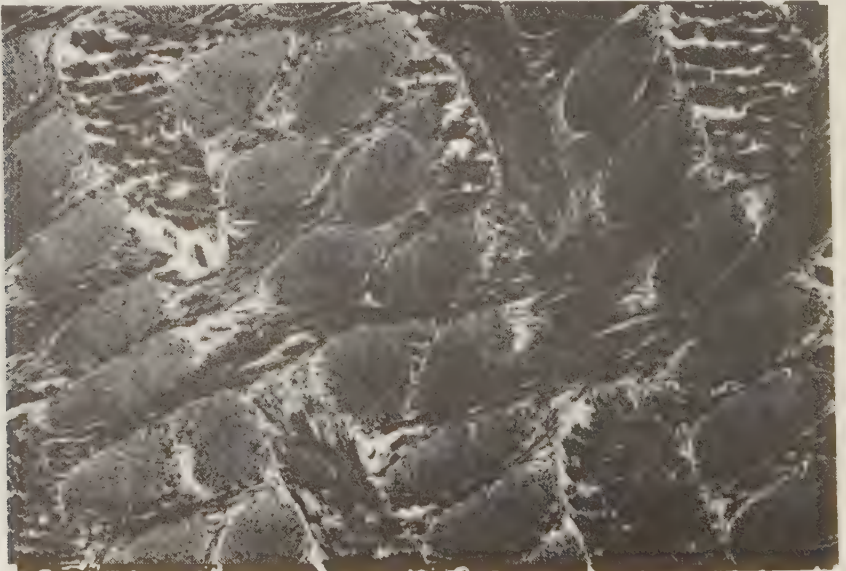


Abb. 10, wie vor, Rattenschmelz, TEM



Abb. 11, Kristallitenbündel in Längsrichtung getroffen, TEM

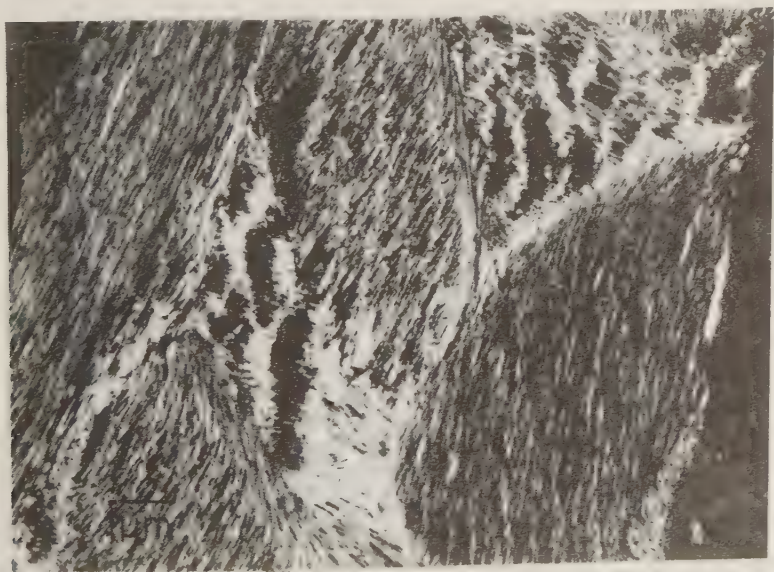


Abb. 12, Die verschiedene Verlaufsrichtung der Kristallite in den Bündeln ist deutlich zu sehen, TEM



Abb. 13, Rattenschmelz, angeätzter Schliff, REM. Ähnlichkeit mit lichtmikroskopischen Bild, schräg verlaufende "Prismen"

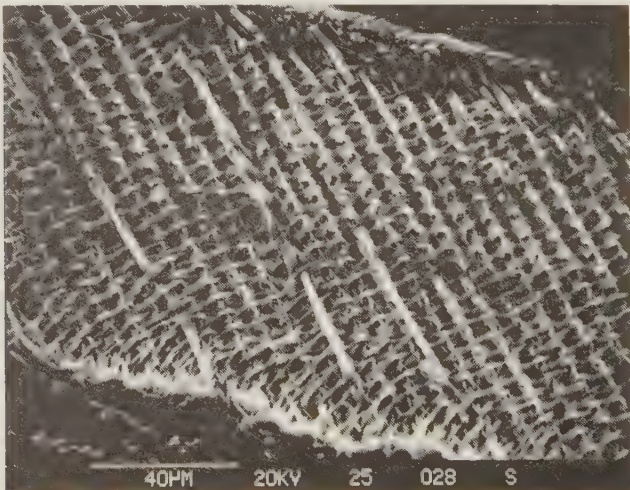


Abb. 14, wie vor, starker vergrößert, REM. Es sind einzelne strangförmige Bündel zu sehen, die sich umschließen und sich kreuzen.

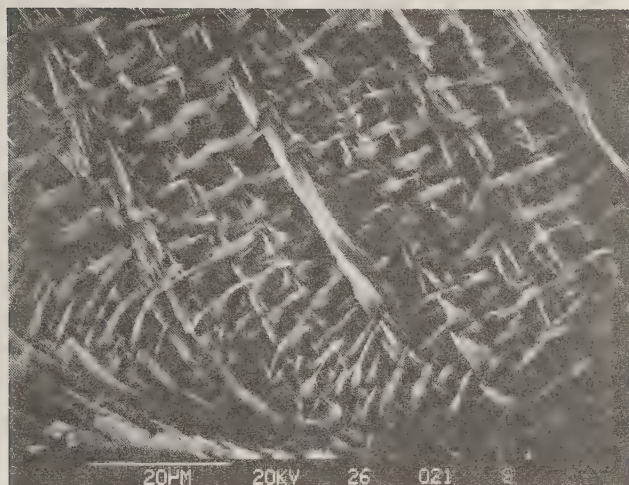


Abb. 15, wie Abb. 13, REM. Bei stärkerer Vergrößerung sind die Kristallitenbündel, die miteinander verflochten sind, deutlich zu sehen.

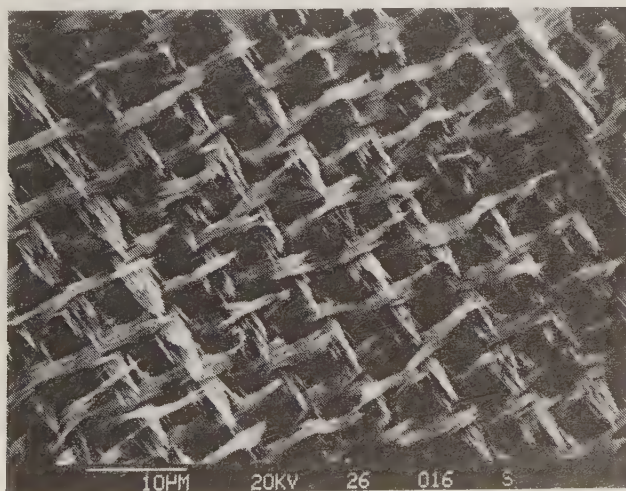


Abb. 16, angeätzter Schliff, REM, wie Abb. 14, stärkere Vergrößerung.

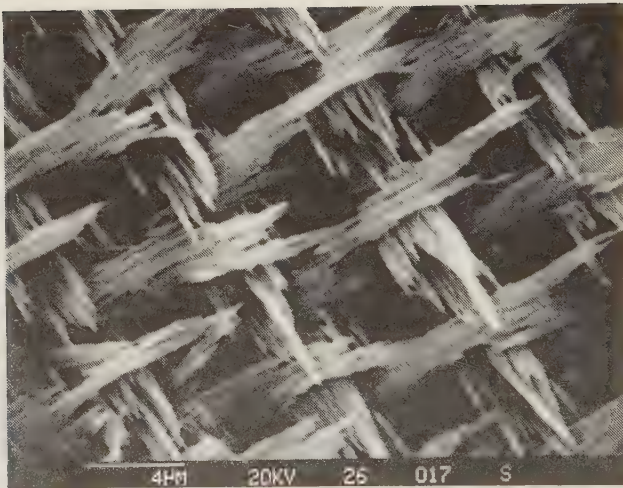


Abb. 17, REM. Die faserigen Bündel teilen sich auf, umschließen ein anderes Bündel und vereinigen sich wieder.

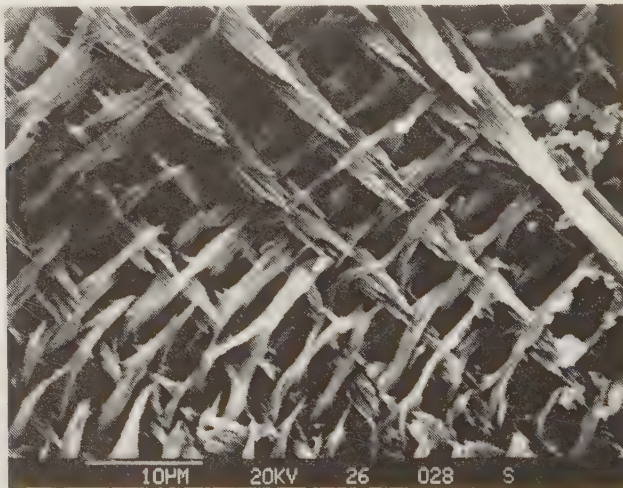


Abb. 18, REM. Gleichmäßige Anordnung der miteinander verflochtenen Kristallitenbündel.

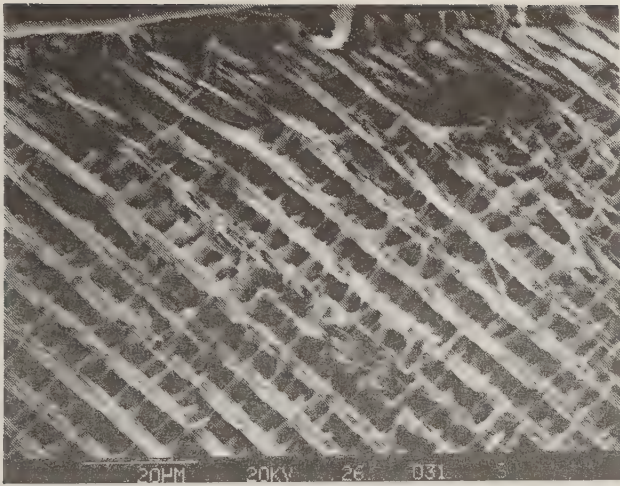


Abb. 19, REM, wie Abb. 13. Zur Oberfläche des Zahnes hin geht die geflechtartige Struktur verloren. Die Bündel stehen alle annähernd senkrecht an der Oberfläche.



Abb. 20, Bruchfläche eines Rattenincisiven, REM

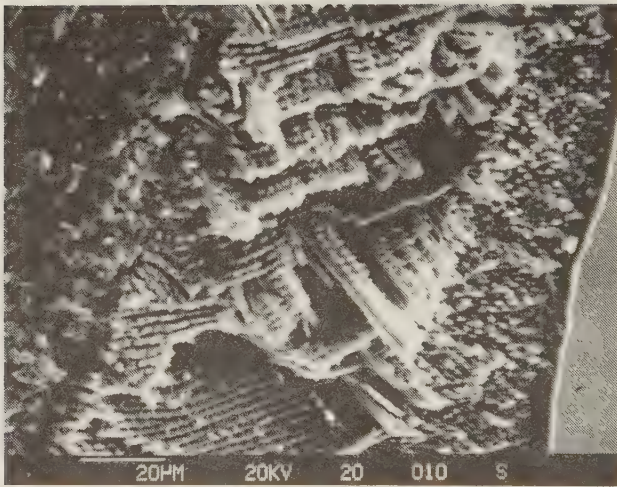


Abb. 21, Bruchfläche von Rattenschmelz, zur Oberfläche hin stehen die Kristallitenbündel annähernd senkrecht (strukturloser Bereich), REM



Abb. 22, wie vor, REM

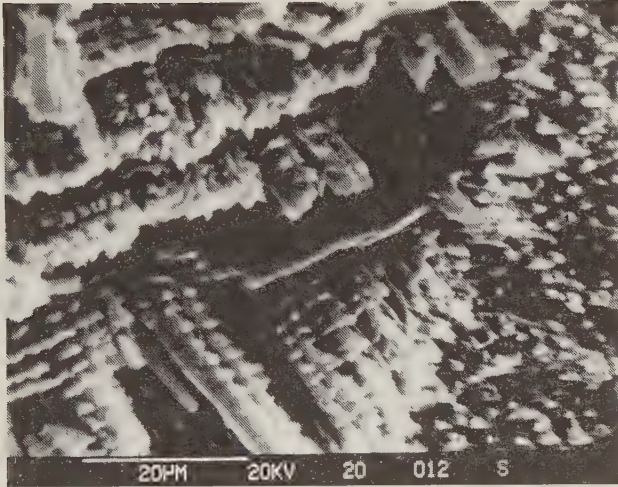


Abb. 23, wie Abb. 21, stärkere Vergrößerung, gleichmäßige Ausfiederung einzelner Kristallitenbündel, REM

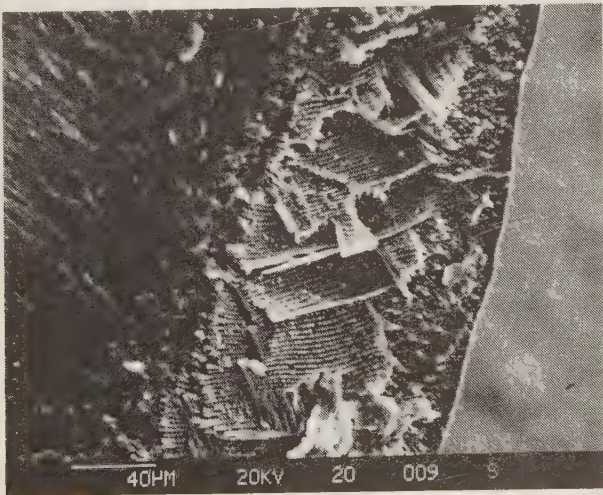


Abb. 24, Bruchfläche von Rattenschmelz, Übersichtsvergrößerung, zur Oberfläche geht die klare Struktur verloren, REM



Abb. 25, Bruchfläche eines Rattenzahnes, REM. Ähnlichkeit mit TEM - Bild (Abb. 8) durch die rundlich - ovalen Bruchflächen der Kristallitenbündel.





Für die Überlassung des Dissertationsthemas und für die Beratung bei der Durchführung der Arbeit danke ich Herrn Professor Dr. Hans Lenz sehr herzlich.

Mein Dank gilt auch Frau Kehler für ihre ständige Hilfsbereitschaft bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen und den phototechnischen Arbeiten.



## LEBENS LAUF

Am 10. Februar 1950 wurde ich, Detlef Manewald, als Sohn des Oberstudienrates Günter Manewald und seiner Ehefrau Ilse, geborene Schönwald, in Berlin - Zehlendorf geboren.

Von 1956 bis 1960 besuchte ich die 10. Grundschule in Berlin-Marienfelde. Im Frühjahr 1960 wechselte ich an die Rudolf - Steiner - Schule in Berlin - Dahlem, wo ich im März 1969 die Reifeprüfung ablegte.

Vom Wintersemester 1970/71 an studierte ich an der Freien Universität Berlin Zahnmedizin. Im März 1973 bestand ich die zahnärztliche Vorprüfung und im Januar 1976 die zahnärztliche Prüfung. Meine Bestallung als Zahnarzt erhielt ich am 6. 2. 1976.

In der Zeit von März 1976 bis April 1978 war ich als Ausbildungsassistent in freier Praxis tätig. Seit April 1978 arbeite ich in meiner eigenen Praxis in Berlin - Wedding.





